Dispositivos electrónicos 2- 04 - 2025

Dra Rosalba Martinez
ross_mar2001@yahoo.com

Objetivo

Analizar circ. electricos basicos considerando su modelado y las limitaciones de los dispositivos. interpretar el funcionamiento de los sistemas electrónicos y sus aplicaciones

Temario:

1. Introducción
2. Conceptos física de semiconductores
3. El diodo semiconductor y modelos
4. El transistor bipolar de juntura TBJ
5. El transistor de efecto de campo FET
6. El amplificador operacional
7. intro a los reguladores de tensión
8. dispositivos ópticos y de potencia

Bibliografía:

- NEAMEN, Donald "Microelectronics: circuit Analysis and Design, 4th edition New York McGrawHill 2010
- SEDRA, Adel. Smith, K.C. Microelectronics circuits 6th edition New York Oxford University Press 2010
- Jaeger, Richard, Blalock, Travis "Microelectronic circuit design, 4th edition New York McGrawHill 2011
- Boylestad, Robert, Nashelsky, Louis "electronic devices and circuit theory, 7th edition New Jersey Prantice Hall 2009
- Rashid, Muhammad "Microelectronic circuits: Analysis and design 2nd edition Canada Cengage learning 2011

Evaluación

formulario, calculadora, lapiz, goma → hoja por ambos lados

- exámenes — 65% (2 exámenes: temas 2 al 4, y 5 al 8)
- tareas y ejerc. — 10% → Primer final reemplaza rubro de exámenes
- Lab aprobado — 25%

* derecho a final lab aprobado y 80% asist.

Historia

- Invención del transistor
- Invención del circuito integrado → Silicio → Semiconductor (Aislante / Conductor)

Silicio: muy abundante en la corteza terrestre

↓

Arena: dióxido de silicio

grado electrónico ultrapuro?

1. Silicio
2. Policristalino líquido
3. Monocristalino lingote
4. Obleas
5. Depósito de capa de material

Semilla

fotolitografía

oblea + fotoresist + máscara (de vidrio)

{ Positivo — el que se pone se pega
o
negativo — el opuesto a la mas cara es el grabado }

* Se expone a luz UV *

6. Transferencia de patrón
7. Eliminación del exceso de material
8. inspección inicial
9. Corte
10. Sección individual
11. Alambrado
12. Empaquetado
13. Prueba final

☆ Procesos de fabricación
- Reglas de diseño
  - instrucciones
  - materiales
  - espesores

☆ Proceso de fabricación de un circuito integrado ☆

- Concepto original del nuevo dispositivo
- Especificaciones de la tecnología del proceso

↓

Diseño por computadora

↓

Simulación y diseño de dispositivos

↓

Generación de máscaras

* Traer hojas para ejercicios integrables

Conceptos de física de semiconductores 2-06-2025

Banda de energía

Niveles de energía (depende del átomo) Cada capa tiene

Num electrones $= 2n^2$ donde n es el número de la capa

Num máximo capa 1 es 2 electrón : $2(1)^2 = 2$
" " capa 2 es 8 : $2(2)^2 = 8$
" " capa 3 es 18 $2(3)^2 = 18$
" " capa 4 es 32 $2(4)^2 = 32$

Electrones de valencia : electrones en la capa más externa (de valencia)

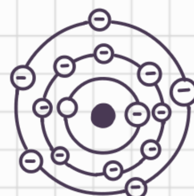
Plantilla ejercicios

Nombre Asignatura Grupo Fecha

ejemplo: Silicio Num = 15
capa 1 = 2
capa 2 = 8
capa 3 = 5

$2+8+5=15$

3 capas 5 electrones de valencia



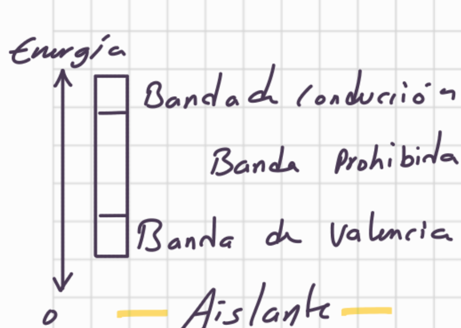
Propiedades eléctricas de los materiales

Aislantes : No conducen corriente eléctrica, elect de valencia fuertemente enlazados
Conductores : Conducen corriente eléctrica, electrones de valencia agudos, se vuelven libres

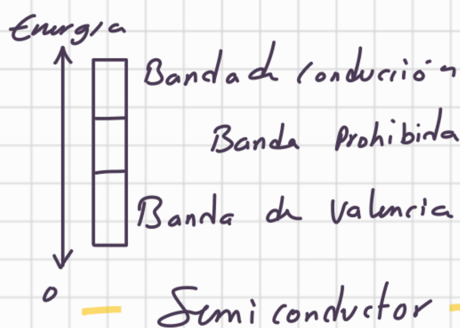
material puro = material intrínseco no tiene impurezas

materiales extrínsecos
Se le agregan impurezas
Proceso llamado dopaje

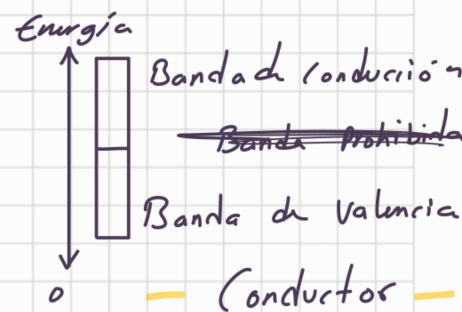
Semiconductores: pueden o no transferir corriente
electrones en la capa de valencia pueden o no convertirse en electrones libres al migrar a la capa de conducción



— Aislante —



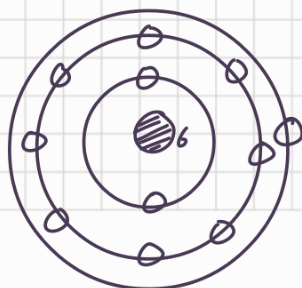
— Semiconductor —



— Conductor —

Carga neta = carga positiva del núcleo — electrones de las capas internas, excepto la de valencia

negativa de los electrones



valencia

6 - 2 - 8 →

02 – 11 – 2025

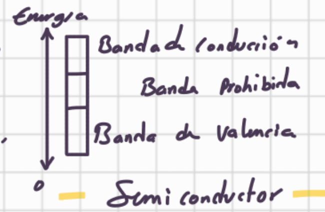


Se comparten 8 electrones de valencia

Enlaces covalentes: Cristal de silicio, comparten un electrón de valencia.
comparten 8 electrones de valencia

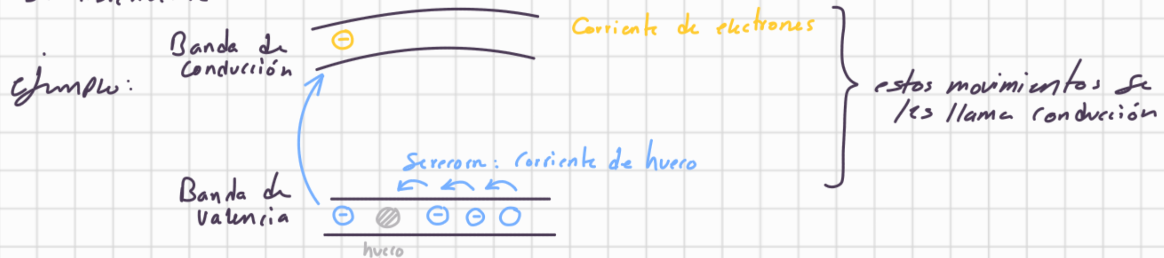
Conducción eléctrica entre semiconductores

Cuando pasa a conducción: se convierte en electrón libre y deja un "hueco" en la de valencia



En la banda de valencia solo se pueden llenar los huecos, los electrones no pueden moverse libremente

ejemplo:



estos movimientos se les llama conducción

Semiconductores:

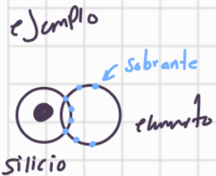
Tipo N

Se agregan átomos de impureza pentavalente (5 elect de valencia)

(Se pasa de los 8 que necesitamos) cede ese electrón (donador) y no deja hueco xq es excedente.

Portadores mayoritarios: electrones; minoritarios: huecos

ejemplo



Tipo P

Se agregan átomos de impureza trivalente

↓

Se aceptan electrones o huecos ¿¿¿

Portadores de corriente

mayoritarios	minoritarios
huecos	electrones

- Relación entre las concentraciones de electrones y huecos en un semiconductor.
- $n_o p_o = n_i^2$
- $n_o \approx Nd$
- $p_o = \frac{n_i^2}{Nd}$
- $p_o \approx Na$
- $n_o = \frac{n_i^2}{Na}$

- n_i Concentración de portadores intrínsecos
- Nd concentración de donadores
- Na concentración de aceptores
- n_o Concentración de equilibrio térmico de los electrones libres.
- p_o Concentración de equilibrio térmico de los huecos.

Ejercicio 3

Febrero – 11 – 2025

Ejercicio 3: 1. Considere un material de silicio temperatura $T = 300$ [K] dopado con fósforo en una concentración de $Nd = 1\times10^{16}$ [cm^{-3}] y $n_i = 1.5\times10^{10}$ [cm^{-3}], encontrar la concentración de electrones libres y la concentración de huecos

Fósforo 5 electrones de valencia, Tipo N
mayoritarios elect
minoritarios huecos

electrones $n_o = ?$
huecos $p_o = ?$

$n_o \approx N_D = 1\times10^{16}$ [cm^{-3}] //

$n_o p_o = n_i^2 \rightarrow p_o = \frac{(n_i)^2}{n_o}$

$$p_o = \frac{(1.5\times10^{10}\ [cm^{-3}])^2}{1\times10^{16}\ [cm^{-3}]}$$

$$p_o = \frac{2.25\times10^{20}\ [cm^{-3}]}{1\times10^{16}\ [cm^{-3}]}$$

$p_o = 22500$ [cm^{-3}] //

2. Considere un material de silicio en $T = 300$ K dopado con Boro en una concentración de $Na = 5\times10^{16}$ [cm^{-3}] y $n_i = 1.5\times10^{10}$ [cm^{-3}], encontrar la concentración de electrones y la concentración de huecos

electrones $n_o = ?$
Huecos $p_o = ?$

$p_o \approx Na = 5\times10^{16}$ [cm^{-3}] //

$n_o p_o = n_i^2$

$n_o = \frac{(n_i)^2}{p_o}$

$$n_o = \frac{(1.5\times10^{10}\ [cm^{-3}])^2}{5\times10^{16}\ [cm^{-3}]}$$

$$N_o = \frac{2.25\times10^{20}\ [cm^{-3}]}{5\times10^{16}\ [cm^{-3}]}$$

$N_o = 4500$ [cm^{-3}] //

Cálculo de n_i

n_i denota el número de electrones libres y huecos de un silicio intrínseco a una temperatura determinada.

$$n_i = BT^{3/2} e^{-E_g/2kT} \quad cm^{-3}$$

número de euler

B es un parámetro dependiente del material, para el silicio es:

$$7.3 \times 10^{15} \ [cm^{-3}K^{-3/2}]$$

T es la temperatura, E_g es un parámetro conocido como energía de banda prohibida, es 1.12 electron volt (eV) para el silicio, y k es la constante de Boltzmann (8.62×10^{-5} eV/K).
E_g es la energía mínima requerida para romper un enlace covalente y por lo tanto generar un par electrón-hueco

ejercicio 4

Camacho Ignacio Violeta
Dispositivos electrónicos
Grupo 8
Febrero – 11 – 2025

$B = 7.3 \times 10^{15} [cm^{-3}K^{-3/2}]$
$Eg = 1.12 [eV]$
$k = 8.62 \times 10^{-5} [eV/k]$

ejercicio 4: 1. Calcular Ni para el silicio con $T = 50[k]$ y $T = 350[k]$

2. Considera un silicio dopado en una concentración $Nd = 1 \times 10^{17} [cm^{-3}]$ y ni el valor obtenido en el ejercicio para $T = 350 [k]$, encontrar la concentración de electrones y la concentración de huecos

1. $T = 50 [k]$ $\quad ni = (B)(T)^{3/2} (e^{-Eg/2kT})$

$ni = (7.3 \times 10^{15})[(50)^{3/2}](e^{-1.12/2(8.62 \times 10^{-5})(50)})$

$ni = (7.3 \times 10^{15})(353.55)(e^{-1.12/2(4.31 \times 10^{-3})})$

$ni = (2.580915 \times 10^{18})(e^{-1.12/8.62 \times 10^{-3}})$

$ni = 9.632086378 \times 10^{-39} [cm^{-3}]$ //

$T = 350 [k]$

$Ni = (7.3 \times 10^{15})[(350)^{3/2}](e^{-1.12/2(8.62 \times 10^{-5})(350)})$

$Ni = (7.3 \times 10^{15})(6547.90)(e^{-1.12/2(0.03017)})$

$Ni = (4.779967 \times 10^{19})(e^{-1.12/(0.06034)})$

$Ni = 1.017058006 \times 10^{12}$ //

2. $n_o = ?$ $\quad n_o \approx ND = 1 \times 10^{17} [cm^{-3}]$ //
$P_o = ?$

$P_o = \frac{(Ni)^2}{n_o}$

$P_o = \frac{(1.017058006 \times 10^{12})^2 \ [cm^{-3}]}{1 \times 10^{17} \ [cm^{-3}]}$

$P_o = \frac{1.034406988 \times 10^{24}}{1 \times 10^{17}}$

$P_o = 10344069.88 \ [cm^{-3}]$ //

13-02-25

Conductividad eléctrica (σ): capacidad para dejar pasar corriente eléctrica

$$\sigma = q(p\mu_p + n\mu_n) \ [\Omega^{-1}cm^{-1}]$$

- q: carga del electrón 1.6×10^{-19} [c]
- p: concentración de huecos
- n: concentración de electrones libres
- μ_p: Movilidad del hueco
- μ_n: Movilidad del electrón

Conductividad también es inversa de la resistividad (ρ)

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \ [S] \ \text{siemens}$$

Resistividad (ρ): qué tanto se opone el material al paso de resistencia eléctrica

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q(p\mu_p + n\mu_n)} [\Omega \cdot cm]$$

Donde q es la carga del electrón 1.6×10^{-19} C (Coulomb) p es la concentración de huecos, n es la concentración de electrones libres, μ_p es la movilidad del hueco, μ_n es la movilidad del electrón.

- p concentración de huecos
- n concentración de electrones libres

Material tipo p	Material tipo n
$p_p n_p = n_i^2$	$p_n n_n = n_i^2$
$p_p \simeq N_A$	$p_n \simeq \frac{n_i^2}{N_D}$
$n_p \simeq \frac{n_i^2}{N_A}$	$n_n \simeq N_D$
N_A concentración aceptores	N_D concentración donadores

n_i concentración de electrones libres y huecos

ejercicio 5:

Camacho Ignacio Violeta
Dispositivos electrónicos
Grupo 8
Fecha: febrero – 13 – 2025

Encuentra la resistividad

1) Silicio intrínseco (Na concentración de aceptores)
2) Silicio de tipo P con $NA = 10^{16} [cm^{-3}]$
Utilizar $Ni = 1.5 \times 10^{10} [cm^{-3}]$
y asumir para el silicio intrínseco $\mu_n = 1350 \ cm^2/V \cdot s$, $\mu_p = 480 \ cm^2/V \cdot s$
y para el silicio dopado $\mu_n = 1110 \ cm^2/V \cdot s$, $\mu_p = 400 \ cm^2/V \cdot s$
silicio intrínseco: $P = n = ni$ $\quad q = 1.6 \times 10^{-19} [C]$

1) Silicio intrínseco

$q = 1.6 \times 10^{-19} [c]$, $\mu_n = 1350 [cm^2/Vs]$, $\mu_p = 480 [cm^2/Vs]$
$P = n = ni = 1.5 \times 10^{10} [cm^{-3}]$

$\rho = \frac{1}{\sigma}$ $\quad \sigma = q(P\mu_p + n\mu_n) [\Omega^{-1}cm^{-1}]$

$\sigma = 1.6 \times 10^{-19}((1.5 \times 10^{10})(480) + (1.5 \times 10^{10})(1350))$

$\sigma = 1.6 \times 10^{-19}((7.2 \times 10^{12}) + (2.025 \times 10^{13}))$

$\sigma = 1.6 \times 10^{-19}(2.745 \times 10^{13})$

$\sigma = 4.392 \times 10^{-6}$

$\rho = \frac{1}{4.392 \times 10^{-6}} = 227686.70 [\Omega cm]$ //

Resistividad (ρ) material intrínseco baja

2) Silicio dopado tipo P → los aceptores son los huecos → electrones libres

$Na = 10^{16} [cm^{-3}]$, $Ni = 1.5 \times 10^{10} [cm^{-3}]$, $q = 1.6 \times 10^{-19} [c]$

$\mu_n = 1110 [cm^2/Vs]$ $\quad \mu_p = 400 [cm^2/Vs]$

$\rho = \frac{1}{\sigma}$ $\quad \sigma = q(P\mu_p + n\mu_n) [\Omega^{-1}cm^{-1}]$

electrones libres: $Np = \frac{Ni^2}{Na} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{10^{16}}$

$Np = 22500$

huecos: $Pp = NA = 10^{16}$

$\sigma = 1.6 \times 10^{-19}((10^{16})(400) + (22500)(1110))$

$\sigma = 1.6 \times 10^{-19}(4 \times 10^{18} + 24975000)$

$\sigma = 1.6 \times 10^{-19}(4 \times 10^{18})$

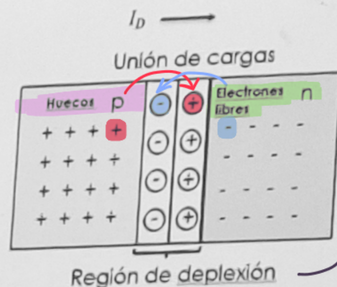
$\sigma = 0.64$ $\quad \rho = \frac{1}{\sigma} = 1.5625 [\Omega cm]$ //

Resistividad (ρ) material dopado baja

Unión PN: cuando las regiones P y n están adyacentes entre sí

▶ La corriente de difusión I_D

La concentración de huecos es alta en la región p y baja en la región n, los huecos se difunden a través de la unión desde el lado p al lado n. De manera similar, los electrones se difunden a través de la unión desde el lado n hacia el lado p. Estos dos componentes se suman para formar la corriente de difusión I_D, cuya dirección es desde el lado p hacia el lado n.



Los signos "+" en el material tipo p indican la mayoría de los huecos. En el material tipo n, la mayoría de los electrones se indican mediante signos "-"

P: exceso de huecos
N: exceso de electrones

ó de agotamiento: Se genera un campo eléctrico que se opone a la difusión entre ellos, a esto se le conoce como Voltaje de barrera

Corriente de difusión: Porta mayoritarios
Corriente de deriva: Porta minoritarios

Ejercicio 6

▶ El voltaje incorporado de la unión

Sin voltaje externo aplicado, el voltaje de barrera V_0 a través de la unión pn se puede obtener por

$$V_0 = V_T \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right)$$

Donde N_A y N_D son las concentraciones de dopaje del lado p y del lado n de la unión, respectivamente. Por tanto, V_0 depende tanto de las concentraciones de dopaje como de la temperatura.

Voltaje térmico $V_T = kT/q$

k es la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K).

T es la temperatura

q es la carga del electrón 1.6×10^{-19} C (Coulomb)

La magnitud de la carga en el lado n de la unión se expresa como:

$$|Q_+| = qAx_n N_D$$

y en el lado p de la unión como:

$$|Q_-| = qAx_p N_A$$

si denotamos el ancho de la región de agotamiento en el lado p por x_p y en el lado n por x_n.

A es el área de la sección transversal.

El ancho W de la capa de agotamiento

$$W = x_n + x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q}\left(\frac{1}{N_A}+\frac{1}{N_D}\right)V_0}$$

donde ϵ_s es la permitividad eléctrica del silicio

$\epsilon_s = 11.7\epsilon_0 = 11.7\times 8.85\times 10^{-14}$ F/cm → $\times 1\times 10^{-14}$

Para obtener x_n y x_p

$$x_n = W\frac{N_A}{N_A+N_D}$$

$$x_p = W\frac{N_D}{N_A+N_D}$$

La carga almacenada a ambos lados de la región de agotamien
se puede expresar

$$Q_J = |Q_+| = |Q_-|$$

$$Q_J = Aq\left(\frac{N_A N_D}{N_A+N_D}\right)W$$

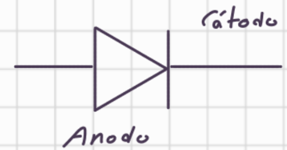
$$Q_J = A\sqrt{2\epsilon_s q\left(\frac{N_A N_D}{N_A+N_D}\right)V_0}$$

02-18-25

Diodo Semiconductor

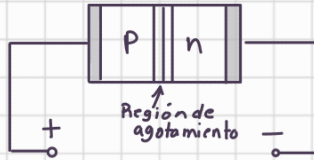
p | n

Contactos metálicos



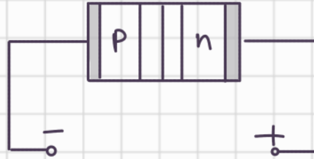
Diodo Permite el Paso de la corriente en un solo sentido dependiendo de como se Polarize

Polarización directa



Diodo se comporta como conducto

Polarización inversa



Diodo se comporta como aislante

Sin Polarización tampoco conduce nada

Para obtener la Polarización:

$$I_D = I_S\left(e^{V_D/nV_T} - 1\right)[A]$$

$$V_D = nV_T \ln\left(1 + \frac{I_D}{I_S}\right)$$

$$I_S = \frac{I_D}{\left(e^{V_D/nV_T}\right) - 1}$$

donde

I_S: corriente de saturación inversa

V_D: Voltaje de Polarización en directa aplicado a través del diodo

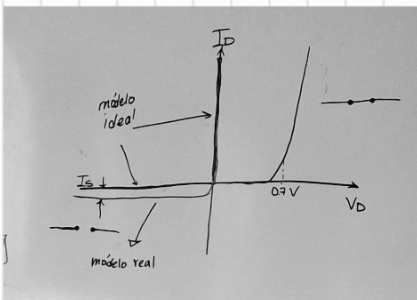
n: es un factor de idealidad, se supone que es 1, si no se especifica que valga 2

V_T: Voltaje térmico $V_T = \frac{KT}{q}$

→ temperatura debe estar en Kelvin [K] sino, sumar 273 a la temperatura en celcius C°

I_D: corriente del diodo

Modelo de diodo ideal:



ejercicio 7

Camacho Ignacio Violeta
Dispositivos electrónicos
Grupo 8
Fecha: 18 - Febrero - 2025

ejercicio 7 $\qquad FA = 1\times10^{-15}$

1. a) encuentre el voltaje del diodo, para un diodo de silicio con $I_S = 0.1$ [FA] operando en una temperatura $T = 300$ [K] y corriente de 300 [μA]

b) cuál es el Voltaje del diodo si $I_S = 10$ [FA]

c) cuál es el Voltaje del diodo si la corriente es 1 [mA]

$$V_T = \frac{KT}{q} = \frac{1.38\times10^{-23}(300)}{1.6\times10^{-19}} = 0.025875\,[V]$$

2. Encuentre el Voltaje del diodo con $I_S = 10$ [nA] y $n = 2$, operando a $T = 300$ [K] y corriente de 10[A]

$$V_D = nV_T \ln\left(1 + \frac{I_D}{I_S}\right)$$

3. Un diodo de silicio es operado a 50 C° y el voltaje medido es de 0.736 [V] y corriente 2.5 [mA] cual es la corriente de saturación del diodo? Suponiendo $n = 1$

1: $V_T = 0.025875$

$FA = 1\times10^{-15}$
$\mu A = 1\times10^{-6}$
$mA = 1\times10^{-3}$
$nA = 1\times10^{-9}$

a) $V_D = ? = nV_T \ln\left(1 + \frac{I_D}{I_S}\right)$

$I_S = 0.1\,[FA] = 1\times10^{-16}\,[A]$ $\quad n = 1$
$I_D = 300\,[\mu A] = 3\times10^{-4}\,[A]$ $\quad V_T = 0.025875$

$$V_D = (1)(0.025875)\ln\left(1 + \frac{3\times10^{-4}}{1\times10^{-16}}\right)$$

$V_D = 0.7433\,[V]$ //

b) $V_D = ?$ si $I_S = 10$ [FA]

$$V_D = 1(0.025875)\ln\left(1 + \frac{3\times10^{-4}}{1\times10^{-14}}\right)$$

$V_D = 0.6242\,[V]$ //

c) $V_D = ?$ si $I_D = 1$ [mA]

$$V_D = (1)(0.025875)\ln\left(1 + \frac{1\times10^{-3}}{1\times10^{-16}}\right)$$

$V_D = 0.7745\,[V]$ //

2. $V_D = ?$ si $I_S = 10\,[nA] = 1\times10^{-8}\,[A]$
$n = 2$ $\quad T = 300$ [K] $\quad I_D = 10$ [A]

$$V_D = nV_T \ln\left(1 + \frac{I_D}{I_S}\right)$$

$$= (2)(0.025875)\ln\left(1 + \frac{10}{1\times10^{-8}}\right)$$

$V_D = 1.0724\,[V]$ //

ejercicio 7

3. $T = 50\,°C = 323$ [K] $\quad n = 1$
$V_D = 0.736$ V $\quad I_D = 2.5\,[mA] = 2.5\times10^{-3}\,[A]$

Corriente de Saturación? I_S =

$$V_T = \frac{(1.38\times10^{-23})(323)}{1.6\times10^{-19}} = 0.02785\,[V]$$ //

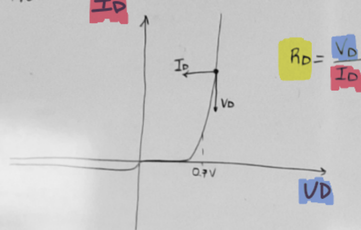
$$I_D = I_S\left(e^{V_D/nV_T} - 1\right)[A]$$

$$I_S = \frac{I_D}{\left(e^{V_D/nV_T} - 1\right)} = \frac{2.5\times10^{-3}}{e^{0.736/0.2785} - 1}$$

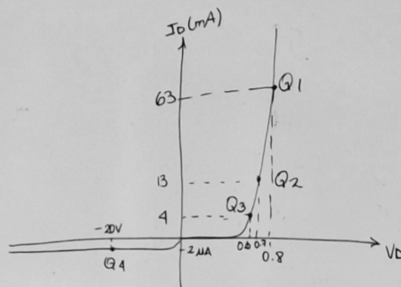
$I_S = 8.33132\times10^{-15}\,[A]$ //

Resistencia estática

Resistencia estática



$R_D = \frac{V_D}{I_D}$



$$R_{DQ_1} = \frac{0.8}{63\times10^{-3}} = 12.698\ [\Omega]$$

$$R_{DQ_2} = \frac{0.7}{13\times10^{-3}} = 53.84\ [\Omega]$$

$$R_{DQ_3} = \frac{0.6}{4\times10^{-3}} = 150\ [\Omega]$$

$$R_{DQ_4} = \frac{-2\times10^{-6}}{-20} = 10\ [M\Omega]$$

02-26-25

Resistencia promedio en ca en torno a un punto de operación

$$r_{prom} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{V_{QA} - V_{QB}}{I_{QA} - I_{QB}}$$

$V_{QA} = 0.8V$

$I_{QA} = 42.5\ mA$

$V_{QB} = 0.75\ V$

$I_{QB} = 22.5\ mA$

$$r_{Prom} = \frac{0.8 - 0.75}{42.5\times10^{-3} - 22.5\times10^{-3}}$$

$$r_{Prom} = 2.5\ [\Omega]$$

Resistencia ca o dinámica

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{26mV}{I_D}$$

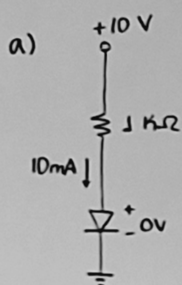
Cuando el rango de variación del punto de operación sobre la curva característica del diodo debido al efecto de una señal de ca aplicada no es grande, sino más bien tiende a estar alrededor de un punto de operación determinado, se habla de

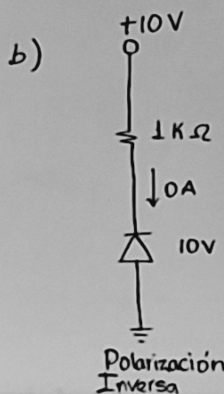
Voltaje de encendido de un diodo de

Silicio : 0.7[V]

Germanio [V]

resistencia dinámica.

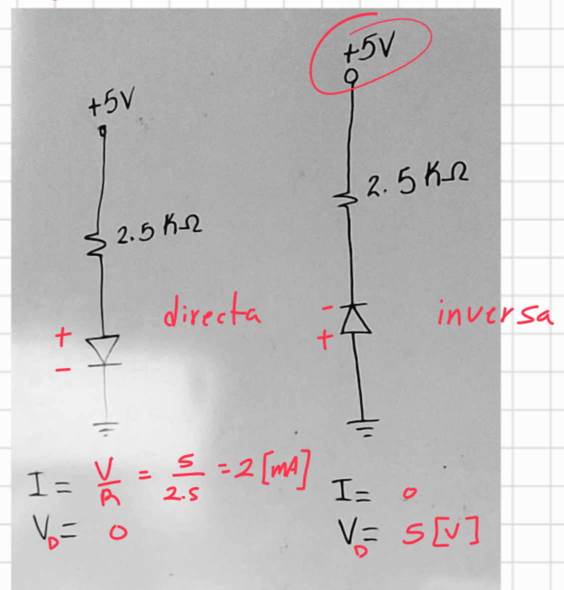




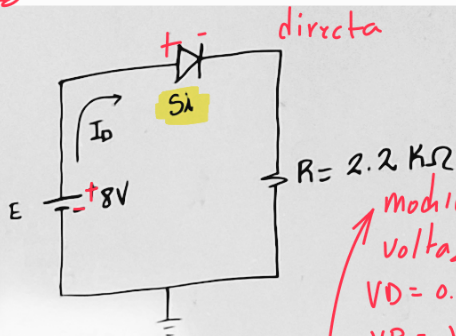
Hay corriente y voltaje del diodo es 0

No hay corriente, y Voltaje del diodo es el de la fuente

Ejemplo :



Ejemplo



modelo real,
voltaje de encendido

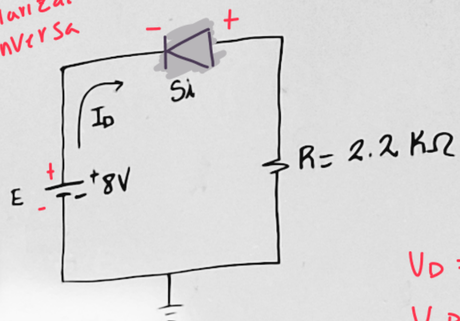
$V_D = 0.7$ [V]

$V_R = V - V_D = 8 - 0.7 = 7.3$ [V]

$I_D = \frac{V_R}{R} = \frac{7.3}{2.2} = 3.318$ [mA]

- Si te dicen silicio modelo real
  Voltaje de encendido
- Si no, modelo ideal

Polarización inversa



Por la polarización:

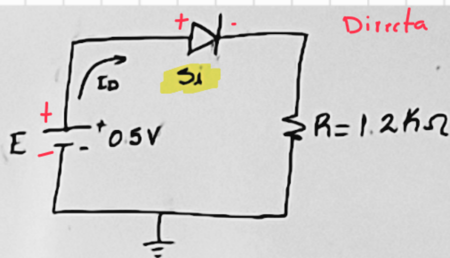
el voltaje es el mismo de la fuente

$V_D = 8V$ [V]

$V_R = 0$ no hay corriente

$I_D = 0$

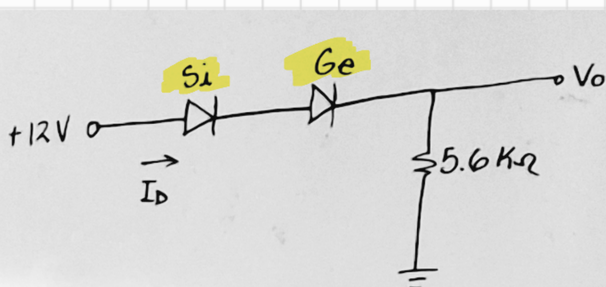
Ejercicio:



$V_D = 0.7$ [V]

$V_R = V - V_D = 0.5 - 0.7 = -0.2$ [V]

$I_D = \frac{V_R}{R} = \frac{-0.2}{1.2} = -0.1666$ [mA]



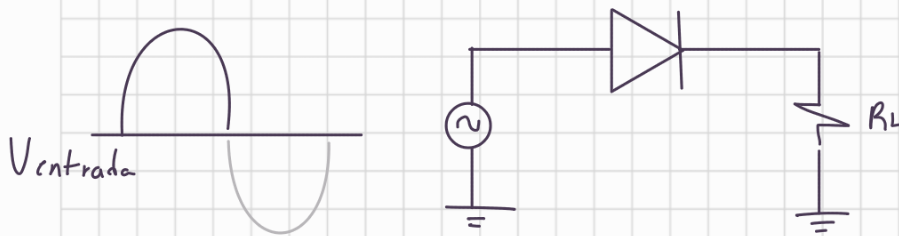
V_D Si = 0.7 [V]

V_D Ge = 0.3 [V]

$V_o = 12 - 0.7 - 0.3 = 11$ V

$I_D = \frac{11}{5600} = 1.9$ [mA]

Rectificador de media onda



V salida

50[V]

Valor promedio del voltaje de salida rectificado de media onda

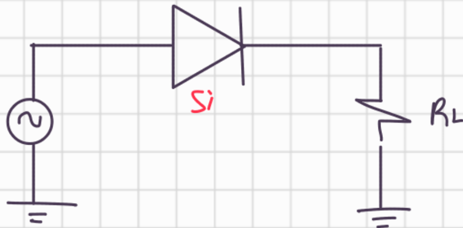
$$V_{Prom} = \frac{V_P}{\pi}$$

VP: Voltaje pico

VProm: 31.8% del VP

si el diodo fuera de silicio

Hay un contorno voltaje de encendido



$$V_{salida} = V_P(\text{entrada}) - 0.7\ V$$

Con un voltaje rectificador de media onda

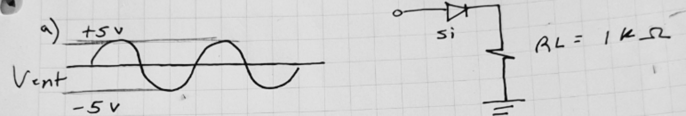
Calcular VProm si $V_P = 50$ [V]

$$V_{Prom} = \frac{50}{\pi} = 15.915\ [V]$$

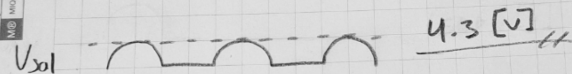
Ejercicio 9

Trace los voltajes de salida de cada rectificador

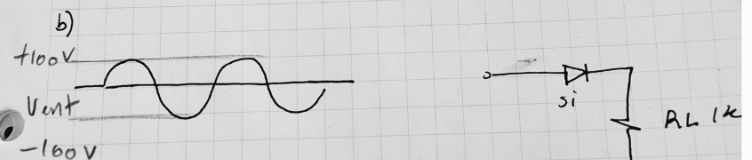
a) +5 V, Vent, -5 V; Si; RL = 1 kΩ



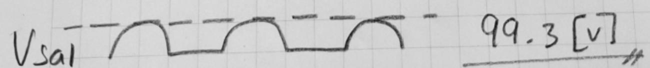
$$V_{sal} = V_{ent} - 0.7 = 4.3\ [V]$$



b) +100 V, Vent, -100 V; Si; RL 1k

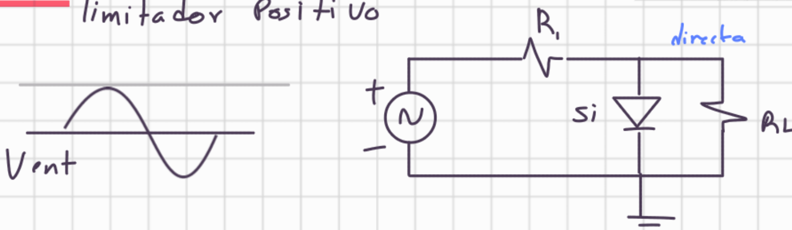


$$V_{sal} = V_{ent} - 0.7 = 99.3\ [V]$$



Circuitos limitadores con diodos

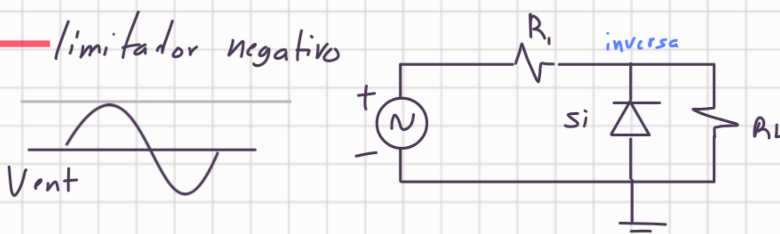
limitador positivo



0.7 [V]

$$V_{sal} = \left(\frac{R_L}{R_1 + R_L}\right) V_{ent}$$

limitador negativo

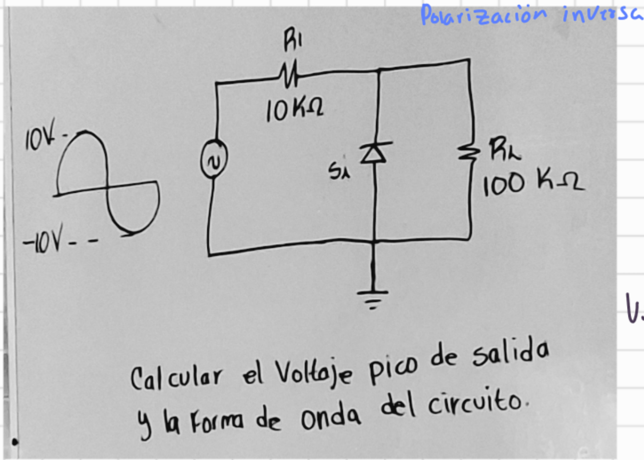


0.7 [V]

$$V_{sal} = \left(\frac{R_L}{R_1 + R_L}\right) V_{ent}$$

Ejercicio para cuaderno

Polarización inversa

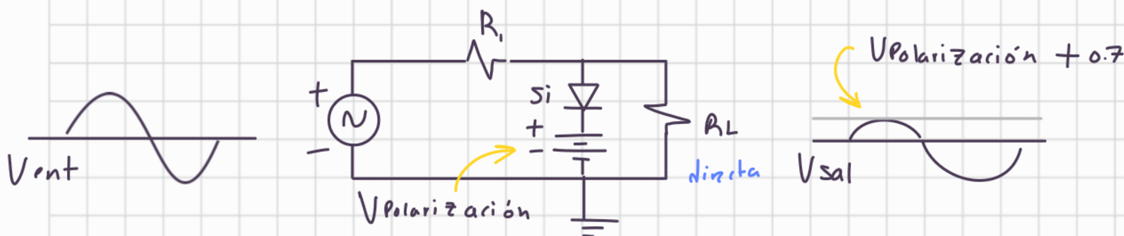


$$V_{sal} = \left(\frac{R_L}{R_1 + R_L}\right) V_{ent}$$

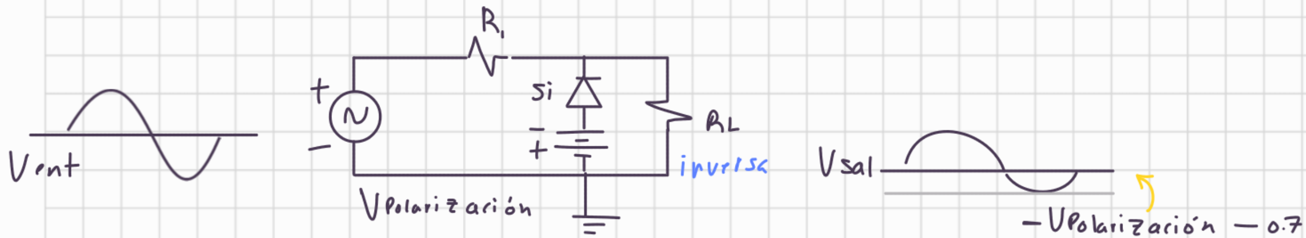
$$V_{sal} = \left(\frac{100\ 000}{110\ 000}\right) \times 10 = 9.09\ [V]$$



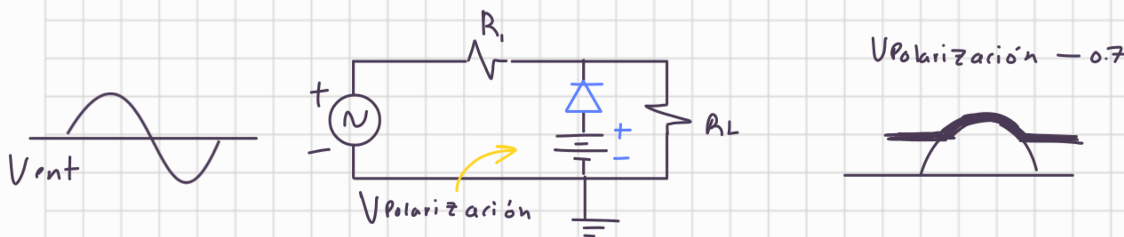
limitador positivo a un nivel especificado



limitador negativo a un nivel especificado



limitador positivo para limitar por encima de la polarización



limitador negativo para limitar por debajo de la polarización

